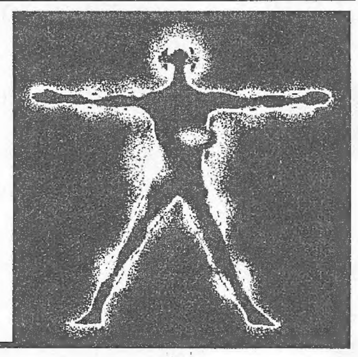
БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

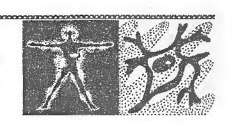


Выходит с 1998 года

Научно-прикладной журнал

Содержание

№ 2 **1999**



УДК:611.018.81:571.8

Нейрокомпьютинг и реальные нейросети спинального и церебрального уровней

И.В.Родштат, Д.С.Чернавский, В.П.Карп

Последовательно высказывается оригинальная система представлений о коррелятивности механизмов функционирования реальных нейросетей спинального и церебрального уровней с классическими парадигмами нейрокомпьютинга. В частности, речь идет о спинальных пластинах Рекседа, первичной зрительной коре и гиппокампе в сопоставлении с моделями Хопфилда, Гроссберга, "back propagation", контрастирования. Формулируется положение о реализации мозаичной обработки визуальной информации в первичной зрительной коре с помощью нейрокомпьютинговых процедур сопоставления, локализации, подтверждения и контрастирования, а также положение о запоминании частных эпизодов и их контекста в гиппокампе с помощью нейрокомпьютинговых процедур ступенчатого дообучения и локализации образа.

The authors speak out successively the original system of ideas about the correlation of mechanisms functioning of real networks the spinal and cerebral levels with the classic paradigmes of neurocomputing. In particular, the authors speak about the spinal Rexed's plates, the primary visual cortex and the hippocampus in the juxtaposition with the models by Hopfield, Grossberg, "back propagation", contrasting. The authors formulate the position about the realization of mosaic treatment of visual information in the primary visual cortex with the help of procedures of neurocomputing: juxtaposition, localization, confirmation,contrasting. The authors formulate also the position about remembrance of private episodes and theirs context in the hippocampus with the help of procedures of neurocomputing:staging of instruction and localization of image.

Введение

Понятие *нейрокомпьютинг* или *система представлений о бионической реализации реальных нейросетей* возникло как веление времени на данном этапе научно-технической эволюции. В этой связи упомянем, что несколько лет назад нами выдвинута гипотеза об аналогии классических представлений нейрокомпьютинга с принципами функционирования реальной нейрофизиологической системы, состоящей из первых пяти спинальных пластин серого вещества (пластин Рекседа), т.е. по существу спинального, но не церебрального органа [1–4]. Однако уже в тех опубликованных работах мы предвидели возможность усложнения классических представлений нейрокомпьютинга, сообразуясь с некоторыми принципами и конкретными механизмами функционирования церебральных систем и структур. В данной статье нам бы хотелось продолжить этот поиск, предварительно подытожив накопленные материалы.

Пластины Рекседа и нейрокомпьютинг

Более 40 лет тому назад шведский исследователь Б.Рексед [5] выдвинул и обосновал идею о пластинчатом строении серого вещества спинного мозга. По существу это была первая цитоархитектоническая



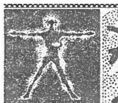
Игорь Вениаминович Родштат —
д.м.н., вед.н.с. ИРЭ РАН (г.Фрязино Моск. обл.).
Научные интересы: разработка проблем электромагнитобиологии, нейрокомпьютинга и сверхчувственного восприятия



Дмитрий Сергеевич Чернавский —
д.ф.-м.н., проф., акад. РАЕН, рук. сектора теоретической биофизики Физического института им. П.Н.Лебедева РАН (Москва).
Научные интересы: разработка проблем математического моделирования в биофизике и медицине



Виктория Павловна Карп —
к.т.н., доц. каф. кибернетики Московского института радиотехники, электроники и автоматики.
Научные интересы: разработка новых компьютерных систем для медицины




классификация в науке о спинном мозге. В основу своей классификации Б.Рексед положил интегральную оценку таких морфологических параметров, как пространственное положение нейронов относительно длинной оси спинного мозга, характер ветвления воспринимающих отростков нейрона или дендритов, направленность выходных отростков нервных клеток или аксонов, особенности устройства синапсов и т.д. С учетом всего этого Б.Рексед выделил десять пластин в сером веществе спинного мозга, из них девять в направлении от дорзальной поверхности спинного мозга к вентральной его поверхности и одну, десятую, пластину вокруг центрального канала спинного мозга (шестая пластина имеется только на шейном и пояснично-крестцовом уровнях спинного мозга). Это открытие получило блестящее и довольно неожиданное подтверждение в наши дни, поскольку была обнаружена биохимическая специфика нейромедиации в большинстве из пластин. Так, в сером веществе спинного мозга выделено и исследовано восемь различных медиаторов, а именно ацетилхолин, ГАМК (гамма-аминомасляная кислота), глицин, глутамат, норадреналин, серотонин, субстанция Р, энкефалин. Кроме того, из спинного мозга выделено около сорока нейропептидов, причем десять из них достаточно хорошо исследованы, а пять обсуждаются в качестве претендентов на роль медиаторов. Это — холецистокинин, кальцитонин-генсвязанное вещество, соматостатин, нейротензин, нейропептид Y. Медиаторы спинного мозга неравномерно распределены по пластинам Рекседа. Наиболее разнообразными по медиации являются первая, вторая и пятая пластины, каждая из которых содержит по пять основных медиаторов. Вторая и третья пластины обычно рассматриваются вместе и носят название желатинозной субстанции из-за своеобразного цвета, обусловленного обилием мелких, плотно упакованных нейронов с сильно ветвящимися дендритами.

Представляют интерес следующие два факта. Во-первых, первая пластина, существенно отличаясь от второй по морфологии, сходна с ней по медиации; во-вторых, вторая пластина, будучи сходной с третьей по морфологии, существенно отличается от нее по медиации. Однако во всех трех перечисленных пластинах наблюдаются так называемые комплексные синапсы, т.е. гломерулы с аксодендритными, аксоаксональными, дендродендритными и дендроаксональными синапсами. Четвертую пластину называют воротной, что точнее отражает ее функциональные свойства. По медиаторному составу она небогата: обнаружены ГАМК и глутамат.

Медиаторы можно (несколько условно) подразделить на активирующие и тормозящие. К первым относятся: глутамат, субстанция Р, энкефалин и ацетилхолин; ко вторым — норадреналин, ГАМК и глицин. Некоторые медиаторы, такие как серотонин, могут выполнять в зависимости от условий обе функции. Другое важное свойство некоторых медиаторов — их дальнодействие. Из физических соображений следует, что при прочих равных условиях диффузионная длина распространения тем больше, чем меньше и проще молекула медиатора. Молекулы глицина и ГАМК сравнительно малы, и можно предположить, что их длина распространения больше, чем, например, медиаторов из группы нейропептидов. Разнообразие набора медиаторов свидетельствует о наличии канализованных связей, что характерно для распознающих процессоров типа Хопфилда. Наличие всего двух медиаторов — короткодействующего активирующего и дальнодействующего тормозящего — характерно для функционирования системы, сходной с процессором Гроссберга, где происходит локализация воспринятой информации. Наличие же нейропиля, т.е. переплетения нервных волокон (о нем упоминалось в связи с желатинозной субстанцией) свидетельствует о передаче сигналов в обе стороны, что характерно для процессоров типа "back propagation".

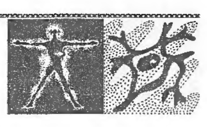
В функциональном плане пластины Рекседа выполняют задачи, которые можно подразделить на девять блоков:

- ✓ передача неперекодированного сигнала в головной мозг (первая пластина);
- ✓ обработка информации, т.е. выделение ценной информации из общего ее потока, в первой, второй и третьей пластинах;
- ✓ перекодировка и интеграция сигналов в четвертой пластине — в ней сигнал, во-первых, преобразуется в пятно (т.е. локализуется) и, во-вторых, задерживается; в пятую пластину сигнал поступает лишь после того, как все остальные сигналы (и быстрые, и медленные, как от кожи, так и от внутренних органов) уже поступили в четвертую пластину, отсюда и ее название — воротная;
- ✓ передача перекодированного сигнала в головной мозг (четвертая — восьмая пластины);
- ✓ интеграция сенсорики на уровне спинального сегмента (пятая и шестая пластины);
- ✓ вегетатика (седьмая пластина);
- ✓ тормозные механизмы моторики и вегетатики (седьмая и восьмая пластины);
- ✓ моторика на уровне спинального сегмента (девятая пластина);
- ✓ болевой блок (десятая пластина).

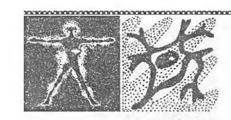
Напомним основные операции процесса распознавания, заключающиеся в следующем:

- ✓ сбор и выделение ценной информации, т.е. формирование пространства признаков;
- ✓ обучение, т.е. составление комбинаций признаков, соответствующих данному классу в обучающем множестве, и формулировка решающего правила (алгоритма);
- ✓ выделение объекта из экзаменуемого множества на основе решающего правила с процедурами проверки и подтверждения. Для этого распознавание многократно повторяется и результаты сопоставляются. В случае несовпадения используется операция направленного дообучения, включающая расширение пространства признаков и коррекцию их весов с учетом "внимания";
- ✓ под "вниманием" понимается изменение значимости признаков и их коньюнкций, т.е. сочетаний признаков, на основе предсуществующей и (или) сторонней информации. Благодаря "вниманию" процесс распознавания может быть существенно ускорен. Однако есть и оборотная сторона: если "внимание" ориентировано ошибочно, то это может привести к неверному результату распознавания или к отказу узнающей системы;
- ✓ термин "направленное дообучение" означает следующее: простое обучение эффективно, если классы объектов однородны. В реальных условиях они, как правило, неоднородны. В этом случае обучение происходит в два этапа: сначала в рамках ограниченного подмножества, затем оно расширяется и происходит дообучение. Расширение пространства признаков продолжается до тех пор, пока оно не становится достаточным для построения решающего правила;
- ✓ контрастирование и локализация образа распознаваемого объекта.

Современная теория нейрокомпьютинга различает следующие модели обработки информации: однопластинчатую модель Хопфилда, позволяющую реализовать обучение, распознавание и внимание; двухпластинчатую модель Гроссберга, где дифференцируется пластина обученных связей, обеспечивающая распознавание, не обязательно обученные межпластинчатые связи, пластина с самоактивацией каждого элемента и тормозными связями к другим элементам, что обеспечивает локализацию распознаваемого образа; двухпластинчатую модель "back propagation" с пластиной формирования пространства признаков и, соответственно, с возможностью ступенчатого дообучения, а также с пластиной распознавания; двухпластинчатую модель с контрастированием, где дифференцируется пластина с позитивной кодировкой образа и пластина с негативной кодировкой образа (при этом от каждого элемента негативной пластины поступает тормозящий сигнал на соответствующий элемент позитивной пластины, благодаря чему "лишние" возбужденные элементы позитива гасятся; повторяя процедуру "позитив-негатив-позитив" несколько раз, можно очистить образ от всех "лишних" элементов). Таким образом, пластинчатые модели нейрокомпьютинга позволяют реализовать обучение, распознавание, "внимание", ступенчатое дообучение, локализацию и контрастирование распознаваемого образа.



Теперь сопоставим функции пластин Рекседа с парадигмами нейрокомпьютинга. Первая пластина Рекседа по богатству медиации, лежащей в основе функционирования межнейронных связей, в принципе способна реализовать по образцу модели Хопфилда обучение, распознавание и "внимание". В ней происходит первичная обработка информации, т.е. выделение диагностически значимой информации и формирование пространства значимых признаков. Наличие комплексных связей свидетельствует о том, что сигналы от нейрона к нейрону передаются как в том, так и в другом направлении. Можно предположить, что комплексные связи являются и одновременно обучаемыми, т.е. сила и характер связей изменяются в зависимости от числа прошедших через них сигналов. Поэтому пластины, содержащие большое число комплексных связей, можно рассматривать в качестве кандидатов на роль процессоров, распознающих образ. Богатый набор нейромедиаторов позволяет осуществить модуляцию специфического "внимания", тогда как при бедном наборе нейромедиаторов изменение их концентрации делает возможным только модуляцию глобального "внимания". Вторая пластина Рекседа, повторяя первую по богатству медиации, а следовательно, по имитации модели Хопфилда, допускает возможность также ступенчатого дообучения из-за наличия нейропиля, тем самым имитируя модель "back propagation". Более того, наличие во второй пластине большого количества (по сравнению с первой пластиной) гломерул с дендроаксональными, дендродендритными, аксоаксональными и аксодендритными синапсами позволяет реализовать одновременное обучение и дообучение комплексных межнейронных связей. Наряду с этим, здесь по причине тормозного эффекта первичных афферентов на нейроны желатинозной субстанции имитируется модель с контрастированием распознаваемого образа. Третья пластина Рекседа содержит большее даже



в сравнении со второй пластиной число гломерул и совместно с ней выполняет упомянутые выше функции. Кроме того, третья пластина благодаря наличию дальнодействующего тормозного эффекта с помощью ГАМК и самовозбуждающихся нейронов может выполнять функции процессора Гроссберга по локализации образа. Однако процесс локализации еще не завершен; сигналы, поступающие с линейного участка кожи, в третьей пластине выглядят как полоски возбужденных нейронов. Четвертая пластина Рекседа напоминает предыдущую по составу медиаторов. Также имеет место пресинаптическое аксоаксональное торможение ее нейронов с уровня третьей пластины. Отсюда следует, что она выполняет функции процессора Гроссберга. Подтверждением тому может служить факт, что сигналы, поступающие с линейного участка кожи, в четвертой пластине выглядят как пятно возбужденных нейронов. Пятая пластина снова имитирует парадигму Хопфилда с распознаванием, обучением и “вниманием”, но уже на новом, более высоком уровне, а именно с учетом независимой информации, полученной в результате интеграции на ее интернейронах кожных и висцеральных сигналов.

Термин “интеграция” может иметь разный смысл. Во-первых, существует интеграция типа сложения (термин “сложение” заимствован из математической логики — означает, что результат операции не равен нулю, даже если один из компонентов отсутствует). Такая интеграция эффективна в случае, когда поступающий сигнал слишком слаб, либо порог возбуждения сигнальных нейронов слишком высок. Во-вторых, существует интеграция типа умножения (термин “умножение” означает, что результат операции равен нулю, если хотя бы один из компонентов отсутствует). Такого рода интеграция имеется в случае, когда в распознающей системе неправильно распределено внимание. В этой ситуации диагноз, поставленный на основе информации, поступившей от тканей и (или) внутренних органов, подвергается ревизии и снова распознается, но уже при другом распределении внимания, скорректированном сигналами от кожи. Отметим, что оба варианта интеграции не исключают друг друга. Более того возможно, что в некоторых случаях осуществляется и тот, и другой вариант.

Таким образом, можно сказать, что в первых пяти пластинах Рекседа в принципе возможна реализация двукратного предварительного обучения, распознавания и “внимания”, двукратного ступенчатого дообучения и двукратного одновременного обучения, тройного контрастирования образа и повторной его локализации. Кроме того, в итоге принципиально возможна реализация обучения, распознавания и “внимания” на новом интегральном уровне с учетом независимой информации.

Нейрокомпьютинг и первичная зрительная кора

Современные нейрокомпьютеры имеют пластинчатую структуру. Это не случайно, поскольку двумерная (пластинчатая) организация удовлетворяет двум необходимым условиям: каждая из пластин должна выполнять определенную функцию, и в то же время почти каждый ее элемент должен быть доступен для связей с внешним миром и (или) с другими пластинами. В трехмерном случае (например, вместо пластин — колонки) эти условия практически выполнить невозможно. В этой связи уместно обсудить, как реализуются упомянутые условия применительно к строению первичной зрительной коры головного мозга. Согласно Д.Хьюбелу [6], первичная зрительная кора, называемая также стриарной корой, представляет собой сравнительно толстый (2 мм) слой клеток площадью в несколько квадратных дюймов (квадратный дюйм равен приблизительно 6,3 см^2). В этом толстом слое выделяют несколько более тонких слоев (конкретно 6) и подслоев, состоящих из однородных клеток. Толщина более тонких слоев составляет десятые доли миллиметра, что, вероятно, соответствует по порядку толщине пластин Рекседа. По строению и функциям можно считать, что термин “слой” соответствует понятию “пластина” в нейрокомпьютинге (и в спинном мозге). Важно, что весь толстый слой первичной зрительной коры разделен на ряд ячеек (или колонок), каждая из которых воспринимает и перерабатывает информацию, поступающую по разным каналам, независимо друг от друга. Иными словами, имеет место мозаичная структура обработки информации. Так, существуют ориентационные колонки, воспринимающие информацию о направлении стимула, и колонки глазодоминантности. В стриарной коре обезьян примерно 70—80 % клеток обладают свойствами ориентационной избирательности.

Таким образом, ячейки (или колонки) состоят из шести слоев (или пластин) и представляют собой микромодуль, где обрабатывается информация, поступающая из небольшого участка поля зрения. Отметим, что согласно [6] интеграция мозаичной информации происходит в макромодуле, объединяющем 500—1000 микромодулей (ячеек или колонок). В макромодуле по аналогии с нейрокомпьютингом интеграция должна осуществляться в пластине (или слое), которая уже не разделена

на ячейки (колонки). В спинном мозге таким интегратором служит пятая пластина Рекседа. Аналогом микромодуля (или колонки) в сером веществе спинного мозга можно считать первые четыре пластины, где обработка сигналов от кожи и внутренних органов производится, по-видимому, независимо. Сложность первичной зрительной коры по сравнению с серым веществом спинного мозга заключается в том, что в коре происходит интеграция от 500–1000 ячеек, в то время как в пластинах Рекседа — всего от двух.

Следует отметить также некоторое терминологическое разногласие. Термин "колонки" был введен В.Маунткаслом [7], с другой стороны, Д.Хьюбел [6] использовал для этого термин "пластины". В нейрокомпьютинге термин "пластины" (или платы) уже занят и соответствует понятию "слой" в первичной зрительной коре. В спинном мозге термин "пластины" имеет тот же смысл, что и в нейрокомпьютинге. Мы остановились на этом, чтобы избежать недоразумений, связанных с различием терминологий.

Стриарная кора содержит около 200 миллионов нейронов. Ориентационные колонки в стриарной коре, т.е. колонки нейронов с функцией оптимальной ориентации стимула, используют тормозной механизм контрастирования [6]. Наличие этого механизма коррелирует с некоторыми структурно-функциональными особенностями первичной зрительной коры. По сложности своей слоистой структуры она превосходит все другие зоны коры. Однако информация о любом небольшом участке поля зрения поступает лишь в небольшой участок коры, где подвергается обработке независимо от того, что происходит с информацией о соседнем участке поля зрения. Таким образом, изображение зрительной сцены анализируется как бы мозаично. Необходимо также отметить, что ориентационные колонки и колонки глазодоминантности независимо друг от друга объединены в огромное число функциональных модулей, где осуществляется распознавание сопоставимых фрагментов образа, т.е. по существу многократное дублирование и своеобразное подтверждение (в свою очередь, подтверждению предшествует локализация фрагмента). Сопоставимы они в том смысле, что поступающая в отдельные модули информация весьма различна по степени своей детализации, а в выходных сигналах отдельных модулей этот параметр, т.е. степень детализации, нивелирован. Согласно экспериментальным данным Д.Хьюбела [6], участок первичной зрительной коры с поперечником в 2 мм и называется модулем (по нашей терминологии макромодулем). Такой функциональный модуль получает от наружного коленчатого тела, т.е. подкорковой структуры, около 10000 входных волокон и образует, в свою очередь, примерно 50000 выходных связей.

Нейрокомпьютинг и гиппокамп

Первичная зрительная кора (она же стриарная, т.е. полосатая кора; другие ее обозначения — поле 17 и V1) относится к наиболее сложно устроенным областям новой коры, которая у человека занимает 95–96 % поверхности большого мозга. Наряду с новой корой различают древнюю кору (палеокортекс) и старую кору (архикортекс). Поскольку речь пойдет о гиппокампе (греческое слово *hippokampos* означает мифическое чудовище с туловищем коня и рыбьим хвостом, синонимы — аммонов рог и морской конек), т.е. о старой коре, отметим, что в филогенезе в хорошо выраженной форме это мозговое образование появилось уже у рептилий. Гиппокамп является парным образованием, расположенным в виде валикообразного возвышения на медиальной стенке нижнего рога бокового желудочка и составляет центральную структуру лимбической системы головного мозга, называемой также эмоциональным или висцеральным мозгом. Цитоархитектоническое деление гиппокампа, согласно [8], происходит на основе расположения пирамидных клеток. С учетом наших задач выделим среди полей гиппокампа поле CA 3, которое состоит из крупных пирамидных нейронов. Клетки этого поля посредством коллатералей Шаффера контактируют с апикальными дендритами пирамидных нейронов поля CA 1. Дополнительный слой поля CA 3 носит название *stratum lucidum* и содержит окончания мшистых волокон зубчатой фасции. В свою очередь, волокна из поля CA 3 через прекомиссуральный свод достигают ядер перегородки. Рассмотрены также возвратные коллатерали аксонов пирамидных нейронов поля CA 3, вследствие активации которых сеть может работать по принципу "аутоассоциации" [9]. Предполагается, что аутоассоциативная система CA 3 идеально подходит для запоминания частных эпизодов и их контекста. Это представление хорошо коррелирует с имитацией модели "back propagation", которая в свою очередь позволяет реализовать ступенчатое дообучение. Процесс приобретения дополнительной информации после обучения является бензодиазепин-зависимым и, следовательно, включает ГАМК-ергические механизмы [10]. Напомним, что наличие дальнодействующего тормозного эффекта с помощью ГАМК и самовозбуждающихся нейронов может выполнять функции процессора Гроссберга по локализации образа.

Заключение

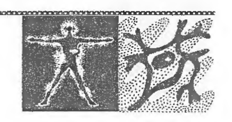
Конкретный анализ реальных нейросетей церебрального уровня показывает, что здесь, как и на спинальном уровне, весьма вероятна реализация классических парадигм нейрокомпьютинга, а именно моделей Хопфилда, Гроссберга, "back propagation", контрастирования. Однако отметим и появление нетипичных для спинального уровня форм. Во-первых, мы имеем в виду представление о мозаичной обработке визуальной информации в первичной зрительной коре, что соотносится сразу с комплексом нейрокомпьютинговых процедур, т.е. сопоставлением, локализацией, подтверждением, контрастированием. Заметим, что проблема мозаичности при обработке визуальной информации обращена к вопросу об эффективности параллельного ее анализа. В теории искусственного интеллекта существует предположение о том, что головной мозг параллельно обрабатывает простейшие признаки, а их сочетания, т.е. конъюнкции, усваиваются в последовательном режиме [11]. В нашем случае речь не идет об интеллектуальных функциях, но стиль обработки информации, по-видимому, совпадает с указанным предположением. Согласно расчетным данным, головной мозг решает трудные зрительные и лингвистические задачи примерно за 100 шагов [12].

Во-вторых, мы имеем в виду представление о запоминании частных эпизодов и их контекста в гиппокампе, которое соотносится с нейрональным ассоциативным механизмом и, по-видимому, реализуется также комплексом нейрокомпьютинговых процедур, среди которых ключевое место занимают ступенчатое дообучение и локализация образа.

Литература

1. *Чернавский Д.С., Карп В.П., Родштат И.В.* О нейрофизиологическом механизме КВЧ-пунктурной терапии. — Препринт №150 Физического института им. П.Н.Лебедева. — М., 1991.
2. *Родштат И.В., Чернавский Д.С., Карп В.П.* Пластинчатое строение мозга и нейрокомпьютинг: Отражение в проблематике КВЧ-терапии. — Международный симпозиум "Математические теории биологических процессов" — Калининград, 1993.
3. *Чернавский Д.С., Карп В.П., Родштат И.В.* Об аутодиагностической системе человека и ее роли (пластины Рекседа как диагностический нейропроцессор). — Радиофизика, 1994, т.37, №1.
4. *Карп В.П., Родштат И.В., Чернавский Д.С.* Нейрохимия спинальной регуляции и нейрокомпьютинг. — Вестник новых медицинских технологий, 1996, т.3, №4.
5. *Rexed B.* The cytoarchitectonic organization of the spinal cord in the cat. — The journal of comparative neurology, 1952, v.96, №3.
6. *Хьюбел Д.* Глаз, мозг, зрение. — М.: Мир, 1990.
7. *Маунткасл В.* Организующий принцип функции мозга: Элементарный модуль и распределенная система. — Разумный мозг. Кортикальная организация и селекция групп в теории высших функций головного мозга. — М.: Мир, 1981.
8. *Ониани Т.Н.* Интегративные функции лимбической системы. — Частная физиология нервной системы. — Л.: Наука, 1983.
9. *Rolls E.T.* Functions of the primate hippocampus in spatial and nonspatial memory. — Hippocampus, 1991, v.1, №3.
10. *Izquierdo I., Netto C.A., Quillfeldt J.A.* Memory modulation. — Neural networks and spin glasses: Proc. STATPHYS 17 workshop, Porto Alegre, 8–11 Aug., 1989. — Singapore ets., 1990.
11. *Баллард Д.Х., Браун К.М.* Зрение: Биология бросает вызов технике. — Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1987.
12. *Фельдман Д.А.* Сетевые модели. — Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1987.

Поступила 10 ноября 1998 г.



УДК 616.1:537.868:577.35

Восстановление психофизиологических функций в послеоперационном периоде с помощью воздействия излучения КВЧ-диапазона

А.С.Баранников, Ю.Н.Белый, В.И.Грачев, В.Я.Кислов, В.В.Колесов, И.П.Панченко, В.Ф.Смирнов

Рассмотрены результаты по пунктурной КВЧ-терапии больных хирургического профиля, прооперированных с использованием общей анестезии. Представлены статистически достоверные результаты психофизиологического тестирования по широкому набору показателей. Показана эффективность разработанной методики.

The results of microwave acupuncture therapy of surgical patients been operated by using a general anaesthesia are considered. The psychophysiological tests on the broad kit of factors are presented and are shown the efficiency of developing methodics.

Физиологическая релаксация и методы психоэмоциональной реабилитации в постэкстремальных условиях в настоящее время являются предметом разноплановых исследований. Послеоперационный период в этом ряду занимает особое место прежде всего из-за высокой степени изученности его клиники в целом, что способствует использованию новых лечебных методик по ходу его течения. Одной из актуальных остается проблема восстановления психофизиологических функций, особенно после оперативных вмешательств под общим наркозом на фоне введения наркотических аналгетиков.

В последние годы при коррекции психофизиологических состояний успешно используются воздействия слабых электромагнитных полей нетепловой интенсивности, в том числе и КВЧ-диапазона (миллиметровые волны) [1, 2]. Известны результаты по психоэмоциональной экспресс-реабилитации в амбулаторных условиях без отрыва от производства [3]. Коррекция психофизиологического статуса КВЧ-процедурами (причем в качестве монотерапии) успешно ставится и решается как самостоятельная задача в клинике внутренних болезней [4].

В комбинации с фармако- и психотерапией применялось также КВЧ-воздействие на точки акупунктуры (ТА) традиционной китайской медицины, при этом полученный эффект оценивался на базе клинико-психопатологического анализа и верифицировался с помощью данных электропунктометрической диагностики (по Накатани) [5].



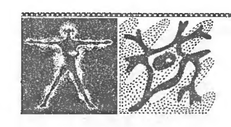
Александр Сергеевич Баранников — *д.м.н., врач-консультант, психотерапевт 32 Центрального военно-морского клинического госпиталя (32 ЦВМКГ) (г.Купавна Моск. обл.) Научные интересы: психотерапия в армии и на флоте*



Юрий Николаевич Белый — *д.м.н., зам. начальника 32 ЦВМКГ (г.Купавна Моск. обл.) Научные интересы: фармакологическая деятельность в экстремальных условиях*



Владимир Иванович Грачев — *н.с. Института радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН (Москва). Научные интересы: физические методы ранней медицинской диагностики, медбиофизика, акустооптика, нелинейная физика*



В комбинации КВЧ-терапии с таким методом физиотерапии, как светолечение, получены результаты по устранению внутреннего десинхроза и нормализации биоритмов, активации регулирующих функций коры головного мозга и клинически антидепрессивный эффект [6]. Коррекция психовегетативного синдрома при точечном КВЧ-воздействии (до 10 ТА) в [7] позволила получить у пациентов прекращение и урежение панических атак. Седативный терапевтический эффект КВЧ-облучения с тенденцией к нормализации психического статуса у больных с неврозоподобными синдромами атеросклеротического генеза исследован в [8].

Основываясь на отмеченных результатах, в настоящей работе в комплекс реабилитационных мероприятий для послеоперационных больных были включены КВЧ-процедуры. Проведено комплексное исследование, включающее клинико-физиологическое и психофизиологическое обследование больных, перенесших оперативные вмешательства под общей анестезией в 32 Центральном военно-морском клиническом госпитале (ЦВМКГ) по поводу язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, острого холецистита, острого аппендицита, паховой грыжи. У обследуемых пациентов оценивали клинико-физиологические показатели (жалобы, анамнез, осмотр, общеклинические анализы и др.), психофизиологические функции, степень тяжести состояния и клиническое выздоровление. Психофизиологическое обследование включало методики оценки психоэмоционального состояния, сенсомоторных функций и характеристик высшей нервной деятельности, интеллектуальные тесты и методики оценки психоэмоционального состояния операторов. Интеллектуальные тесты были ориентированы на оценку аттенционных, мнестических и гностических качеств, характеризующих функции внимания, памяти и логического мышления.

Лиц, прошедших комплексное обследование, разделили на контрольную и опытную группы по 15 человек. Пациентам обеих групп были проведены полостные оперативные вмешательства под общей анестезией, после которой, как правило, наблюдаются выраженные нарушения психофизиологических функций, практически не нормализующиеся к выписке. Все выборки рандомизировали по возрасту, диагнозам, нозологическим формам заболеваний, по видам оперативных вмешательств и видам общей анестезии.

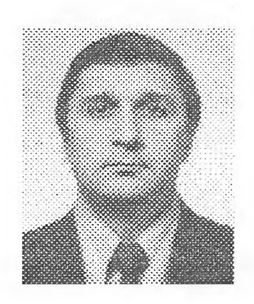
В опытной группе проводилась КВЧ-терапия пациентов, начиная со второго дня после операции и до дня выписки. Использовалась автоматизированная система диагностики, оперативного контроля и КВЧ-коррекции функционального состояния организма, аппаратно и программно реализованная в лечебно-диагностическом комплексе ШАРМ [9] и представляющая собой совокупность разработанных и использованных методик.

Клиническое применение методики распадается на три этапа.

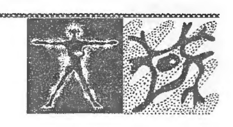
Первый этап — диагностика функциональных состояний организма по карте риодораку обследуемого или диаграмме состояния системы



Владимир Яковлевич Кислов —
д.ф.-м.н., проф., зав. отд. ИРЭ РАН (Москва)
Научные интересы: биомедицинская радиоэлектроника, электроника СВЧ, физика плазмы, динамический хаос



Владимир Владимирович Колесов —
к.ф.-м.н., с.н.с. ИРЭ РАН (Москва)
Научные интересы: физические методы ранней медицинской диагностики, физическая и молекулярная электроника, нелинейная физика, информатика



его меридианов, полученной на основе компьютеризованных электрофизических измерений поверхности кожи обследуемого в репрезентативных биологически активных точках или ТА по риодораку — линиям повышенной электропроводности его кожи, соответствующим ходу классических "меридианов", используемых в традиционной древневосточной медицине.

Второй этап реализации методики —формулировка КВЧ-рецепта: длина волны и мощность излучателя, зона и режим облучения, продолжительность сеанса и курса в целом, а также КВЧ-воздействие на организм по данному рецепту низкоинтенсивным электромагнитным излучением с помощью соответствующего терапевтического КВЧ-аппарата.

Наконец, заключительный *третий этап* — оперативный контроль скорректированных состояний организма, методически аналогичный первому этапу.

Все процедуры данной физиотерапевтической автоматизированной экспресс-методики практически неинвазивны и требуют минимального технического обеспечения.

Электропунктурное исследование и оценка состояния системы меридианов выявляли соответствующие отклонения от нормы и параметры для КВЧ-рецепта. Как правило, для системного воздействия использовались тонизирующие точки тех меридианов, показатели которых значительно ниже нормальных (угнетены). Исследование показало, что использование седативных точек не дает эффекта даже в том случае, если при диагностике обнаружено значительное возбуждение какого-либо из меридианов, так как это ведет к снижению общего тонуса организма. В данном случае тонизация смежного угнетенного меридиана приводит, как правило, к уменьшению избыточного возбуждения, поскольку все меридианы последовательно связаны между собой.

Воздействие КВЧ осуществлялось серийным аппаратом типа "Явь". Использовалось электромагнитное излучение на длинах волн 5,6 и 7,1 мм с плотностью потока мощности не более 10 $мВт/см^2$. Точки облучались по 5 мин с одной или с обеих (симметрично) сторон по показаниям, последовательно в течение сеанса, либо чередовались от сеанса к сеансу. Режим облучения — непрерывный, частотная модуляция не использовалась. Длительность сеанса (процедуры) не более 30 мин ежедневно в первой половине дня; в течение суток сеанс не повторялся. Весь курс КВЧ-воздействия без перерывов составлял 5—10 сеансов; КВЧ-терапия проводилась одновременно с общепринятыми методами лечения.

В таблице представлены сравнительные результаты (в условных единицах: средняя арифметическая величина по выборке значений и ее дисперсия) психофизиологического обследования пациентов до и после лечения. Доверительная вероятность того, что истинное значение отличается от вычисленной средней величины на величину полученной дисперсии, определяется по критерию Стьюдента.



Игорь Павлович Панченко —
нач. хирургического отделения 32 ЦВМКГ (г.Купавна Моск. обл.).
Научные интересы: постоперационная реабилитация пациентов



Владимир Феликсович Смирнов —
н.с. ИРЭ РАН (Москва).
Научные интересы: биомедицинская радиоэлектроника, программирование баз данных, компьютерное моделирование

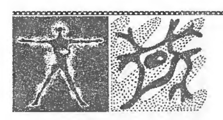


Таблица. *Изменение психофизиологических показателей больных хирургического профиля (M ± m)*

Показатель	Контрольная группа		Опытная группа	
	до лечения	при выписке	до лечения	при выписке
Методика САН				
1. Самочувствие	1,3 ± 0,2	2,3 ± 0,1	1,8 ± 0,2	3,2 ± 0,2
	t = 4,5**		t = 5,04**	
2. Активность	1,4 ± 0,2	2,6 ± 0,1	2,1 ± 0,3	3,7 ± 0,2
	t = 5,4**		t = 5,1**	
3. Настроение	2,0 ± 0,2	2,9 ± 0,1	2,5 ± 0,3	4,0 ± 0,1
	t = 4,02**		t = 5,34**	
Тест Спилбергера—Ханина				
4. Реактивная тревожность	18,1 ± 0,3	11,6 ± 0,8	17,1 ± 0,6	8,67 ± 0,7
	t = 7,6**		t = 9,0**	
Цветовой тест Люшера				
5. Суммарное отклонение	15,1 ± 1,6	14,9 ± 1,6	15,2 ± 2,3	7,3 ± 0,7
	t = 0,1		t = 3,32**	
6. Вегетативный коэффициент	0,97 ± 0,08	0,76 ± 0,1	0,86 ± 0,1	1,19 ± 0,05
	t = 1,4		t = 2,96**	
7. Эмоциональный стресс	7,1 ± 0,3	7,8 ± 0,5	5,8 ± 0,4	6,9 ± 0,2
	t = 1,2		t = 2,5*	
8. Психическое утомление	9,4 ± 0,4	9,7 ± 0,5	9,4 ± 0,4	8,9 ± 0,3
	t = 0,5		t = 0,9	
9. Психическое напряжение	5,5 ± 0,6	6,1 ± 0,6	7,1 ± 0,7	5,9 ± 0,3
	t = 0,7		t = 1,7	
10. Тревога	6,1 ± 0,8	6,9 ± 0,7	8,4 ± 1,0	4,1 ± 0,3
	t = 0,8		t = 3,4**	
Самооценка				
11. Работоспособность	0,3 ± 0,2	2,3 ± 0,1	1,8 ± 0,2	3,2 ± 0,2
	t = 8,9**		t = 5,0**	
Методика РДО				
12. Количество точных реакций	1,9 ± 0,3	2,1 ± 0,5	3,1 ± 0,4	3,7 ± 0,4
	t = 0,4		t = 1,06	
13. Количество преждевременных реакций	4,4 ± 0,6	5,0 ± 0,6	6,2 ± 1,1	8,5 ± 1,0
	t = 0,7		t = 1,54	
14. Количество запаздывающих реакций	19 ± 0,6	17 ± 0,6	16 ± 1,2	13 ± 0,9
	t = 2,36*		t = 2,05*	
15. Среднее арифметическое отклонение без учета знака	4,0 ± 0,6	3,1 ± 0,4	3,3 ± 0,3	2,0 ± 0,1
	t = 1,25		t = 4,11**	
16. Среднее алгебраическое отклонение с учетом знака	3,3 ± 0,5	1,8 ± 0,3	1,7 ± 0,4	0,5 ± 0,2
	t = 2,57*		t = 2,68*	

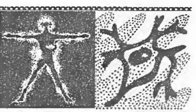


Таблица (*продолжение*)

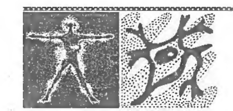
Показатель	Контрольная группа		Опытная группа	
	до лечения	при выписке	до лечения	при выписке
17. Среднеквадратическое отклонение	4,9 ± 0,7	3,4 ± 0,5	3,9 ± 0,4	2,5 ± 0,2
	t = 1,74		t = 3,13**	
Тест "Диагностика ФС ЦНС"				
18. Среднее время реакции	730 ± 40	800 ± 40	1040 ± 60	630 ± 40
	t = 1,2		t = 5,68**	
19. Модальное время реакции	810 ± 60	800 ± 67	970 ± 30	560 ± 50
	t = 0,11		t = 7,03**	
20. Максимальная частота	15 ± 1,8	16 ± 1,3	52 ± 7,9	17 ± 0,3
	t = 0,45		t = 4,42**	
21. Устойчивость реакции	– 4,5 ± 0,8	0,3 ± 0,9	– 0,53 ± 0,1	– 0,4 ± 0,0
	t = 2,65**		t = 1,30	
22. Уровень функциональных возможностей ЦНС	0,8 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,1 ± 0,03	0,8 ± 0,2
	t = 0,71		t = 3,46**	
23. Функциональное состояние ЦНС	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,3	0,5 ± 0,2	1,9 ± 0,3
	t = 0,24		t = 3,89**	
24. Объем кратковременной зрительной памяти	5,9 ± 0,2	6,3 ± 0,3	6,1 ± 0,4	7,5 ± 0,4
	t = 1,1		t = 2,47*	
25. Концентрация внимания	– 4,5 ± 0,8	0,3 ± 0,9	– 2,8 ± 0,9	0,5 ± 1,2
	t = 3,95**		t = 1,92	
Установление закономерностей				
26. Логичность умозаключений	32 ± 0,8	35 ± 1,9	34 ± 1,1	40 ± 1,8
	t = 1,45		t = 2,84**	
27. Скорость мыслительных операций	9,0 ± 0,6	11 ± 0,9	9,1 ± 0,9	14 ± 1,5
	t = 1,84		t = 2,80*	

Примечание: знаками * и ** обозначены статистически достоверные отличия до и после лечения по критерию Стьюдента (для вероятностей $p < 0{,}05$ и $p < 0{,}01$ соответственно).

Данные таблицы для наглядности переведены в гистограммы рисунка.

На каждой гистограмме сравниваются две группы спаренных столбцов — левая и правая. Левая иллюстрирует табличные значения для контрольной группы, правая группа столбцов — значения опытной группы, в которой проводилась КВЧ-коррекция.

Сравнение показателей в опытной и контрольной группах позволяет отметить следующее. После КВЧ-коррекции наблюдалось более выраженное улучшение субъективного состояния и в наибольшей степени (вдвое) снижался показатель реактивной тревожности (по тестам методик Спилбергера и Люшера). Цветовой тест Люшера фиксирует значительную (статистически достоверную) нормализацию показателей психоэмоционального состояния, в то время как в контрольной группе эти показатели достоверно не изменились. В сравнении с контролем улучшились показатели психомотор-



Методика САН

Тест Спилберга — Ханина

Цветовой тест Люшера

Работоспособность

Методика РДО

Диагностика ФС ЦНС

Диагностика ФС ЦНС

Объем кратковременной зрительной памяти

Концентрация внимания

Установление закономерностей

Гистограммы данных психофизиологического тестирования хирургических больных: цифры по горизонтальным осям — номера тестов таблицы; левый столбец в каждой паре столбцов — значение соответствующего параметра до лечения, правый — при выписке

ного реагирования (реакция на двигательный объект); существенно (статистически достоверно) снизилось среднее время реакции и изменилось функциональное состояние центральной нервной системы (ФС ЦНС) в целом; существенно (статистически достоверно) увеличился объем кратковременной памяти и повысилась скорость принятия решений.

Таким образом, для больных хирургического профиля, прооперированных с использованием общей анестезии, применение КВЧ-терапии в послеоперационный период позволяет более эффективно восстанавливать психофизиологические показатели, что особенно важно при восстановлении общего функционального состояния и работоспособности специалистов различных профессий операторского профиля, связанных с принятием решений и значительными техногенными рисками.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по гранту №98-02-16723.

Литература

1. *Арзуманов Ю.Л., Бецкий О.В., Девятков Н.Д., Лебедева Н.Н.* Применение ММ-волн в клинической медицине (последние достижения). — 11 Росс. симп. с межд. участием "Миллиметровые волны в медицине и биологии". Сб. докл. — М.:ИРЭ РАН, 1997.

2. *Лебедева Н.Н., Сулимова О.П.* Модифицирующее действие ММ-волн на функциональное состояние центральной нервной системы человека при моделировании стресса. — Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1994, №3.

3. *Крайнов В.Е., Сулимова О.П., Ларионов И.Ю.* Новый комплекс быстрой психоэмоциональной реабилитации человека. — Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1997, №9—10.

4. *Темурьянц Н.А., Асанова Л.М., Антропов Ю.Ф., Туманянц Е.Н.* Динамика некоторых психофизиологических показателей в процессе микроволновой терапии. — 11 Росс. симп. с междунар. участием "Миллиметровые волны в медицине и биологии". Сб.докл. — М.: ИРЭ РАН, 1997.

5. *Морозов Г.В., Асанова Л.М., Антропов Ю.Ф., Шканов С.М.* КВЧ ЭМИ в лечении невротической депрессии у женщин. — 10 Росс. симп. с межд. участием "Миллиметровые волны в медицине и биологии". Сб.докл. — М.: ИРЭ РАН, 1995.

6. *Царицынский В.И., Таранская А.Д., Деркач В.Н.* Использование ЭМИ КВЧ диапазона в лечении депрессивных состояний. — 8 Межд. симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". Сб.докл. — М.: ИРЭ АН СССР, 1991, ч.1.

7. *Кротенко А.А., Петрова Е.П., Теппоне М.В.* Применение многозональной КВЧ-терапии в лечении больных с паническими атаками. — 8 Межд. симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". Сб.докл. — М.: ИРЭ АН СССР, 1991, ч.1.

8. *Мосежный А.Е., Гуляев А.А., Никифоров В.К.* Электромагнитные волны ММ-диапазона в лечении больных церебральным атеросклерозом с неврозоподобными состояниями. — Избр. вопросы КВЧ-терапии в клинической практике. Инф. сб. — М.: МО СССР, 1991, §4, вып.61.

9. *Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Белый Ю.Н.* и др. Электрофизические основы и клинические применения диагностики и КВЧ-коррекции функциональных состояний человека. — Радиотехника и электроника, 1995, №12.

Поступила 2 февраля 1999 г.